文章编号:1008-1534(2024)02-0154-07

甜加糯型鲜食玉米留层加工关键工艺研究

牛虎利,张昊宇,常宏杰,田 伟,郭明昊,张高帅,闫海鹏

(河北科技大学机械工程学院,河北石家庄 050018)

摘 要:为了最大程度延长并保持甜加糯型鲜食玉米的营养成分和口感,对玉米加工工艺进行研究。首先,确定了需要保留玉米内部 2~4 片苞叶的加工要求;其次,以冀糯 173 甜加糯型鲜食玉米为研究对象,掌握了鲜食玉米苞叶包覆状态及其在穗柄上的生长分布规律,提出了先定位切割再利用内外层苞叶附着力的差异去除外层苞叶的加工工艺;然后,在开展鲜食玉米外部形态尺寸测量实验的基础上,设计了一种环状定位结构,并搭建了去苞叶设备;最后,通过合理留层试验对所提出的加工工艺进行了验证。结果表明:先经定位环定位切割穗柄,再经去苞叶设备处理的玉米能够苞叶合理留层 2~4 片,定位环参数为大内径 53 mm、小内径 41 mm、接触区 8 mm、保护区 2 mm、厚度 2.5 mm。先定位切割再去除外层苞叶的加工工艺合理可行,能够实现甜加糯型鲜食玉米合理保留内层苞叶的加工目标。鲜食玉米留层加工工艺可为甜加糯型鲜食玉米留层加工生产线的设计和改进提供参考。

关键词:农业机械学;甜加糯鲜食玉米;玉米形态学;玉米加工工艺;苞叶合理留层

中图分类号:S233.5 **文献标识码**:A **DOI**: 10.7535/hbgykj.2024yx02010

Study on the key technology of sweet and waxy fresh corn retaining processing

NIU Huli, ZHANG Haoyu, CHANG Hongjie, TIAN Wei, GUO Minghao,
ZHANG Gaoshuai, YAN Haipeng

(School of Mechanical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: In order to prolong and maintain the nutritional composition and taste of the sweet and waxy fresh corn to the maximum extent, the corn processing technology was studied. Firstly, the processing requirement of retaining 2 to 4 inner leaves of bracts was determined. Secondly, taking Jinuo 173 sweet and waxy fresh corn as the research object, the covering state of fresh corn bracts and the growth distribution law on the stalk were grasped, and the processing technology of removing the outer bracts by positioning and cutting the outer bracts and using the difference in the adhesion of the inner and outer bracts

收稿日期:2023-03-17;修回日期:2023-11-28;责任编辑:王海云

基金项目:河北省重点研发计划项目(21321901D);河北省自然科学基金(E2021208004);河北省高等学校科学技术研究青年基金(QN2021061)

第一作者简介:牛虎利(1981—),男,山东威海人,副教授,博士,主要从事农业机械方面的研究。

通信作者:闫海鹏副教授。E-mail:lnyanhp@126.com

牛虎利,张昊宇,常宏杰,等.甜加糯型鲜食玉米留层加工关键工艺研究[J].河北工业科技,2024,41(2):154-160.

NIU Huli, ZHANG Haoyu, CHANG Hongjie, et al. Study on the key technology of sweet and waxy fresh corn retaining processing[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2024, 41(2): 154-160.

was proposed. Then, based on the experiment of external shape and size measurement of fresh corn, a ring positioning structure was designed and the equipment of removing bracts was built. Finally, the proposed processing technology was verified by reasonable layer retention test. The results show that 2 to 4 leaves of bracts could be retained reasonably in the corn treated by the positioning ring first, and then by the bracteating equipment. The parameters of the positioning ring were 53 mm in the large inner diameter, 41 mm in the small inner diameter, 8 mm in the contact area, 2 mm in the protected area and 2.5 mm in thickness. The processing technology of positioning and cutting before removing the outer bracts is reasonable and feasible, which can realize the processing goal of retaining the inner bracts reasonably for sweet and waxy fresh corn. The process of fresh corn bracts retention can provide reference for the design and improvement of sweet and waxy fresh corn bracts retention processing line.

Keywords: agricultural mechanics; sweet and waxy fresh corn; morphology of corn; corn processing technology; reasonable retention of bracts

鲜食玉米是一种用于加工或者直接食用的玉米类型[1]，其营养丰富，口感甜糯[2]，已成为人们喜爱的健康食品。中国是全球最大的鲜食玉米生产国和消费国，全国鲜食玉米种植面积约 2.2×10^7 亩（1 hm^2=15 亩；下同），预计未来 8～10 a 可发展到 3×10^7 亩[3-5]。同时，欧洲和东南亚地区的鲜食玉米需求量也日益增大，发展鲜食玉米深加工产品具有广阔的国际市场[6]。

近年来，甜加糯型鲜食玉米因兼具甜玉米和糯玉米的优点，口感独特，在中国市场迅速崛起[7]。但甜加糯型鲜食玉米的保质期较短，如果短时间内不能完成加工处理，玉米的口感与风味会迅速下降[8-10]。陈绍慧[11]研究发现，可溶性糖含量的减少是鲜食玉米采后口感与风味下降的重要原因；刘勋甲等[12]通过研究发现，鲜食玉米在常温下采后带苞叶处理，其糖分流失会比完全去苞叶处理时低。这表明，苞叶是果穗发育的保护器官，也是玉米果穗的营养贮藏器官[13]，玉米苞叶在鲜穗的储运过程中具有重要作用[14]。因此，在对甜加糯型鲜食玉米进行加工时，保留 2～4 片内层苞叶能够使其储存时间更长，食用口味更佳。

关于鲜食玉米收获自动化机械设备的研究，切头去尾设备大都采用先将苞叶撕扯干净，再通过人工观察并摆放位置，然后进行切割头尾的方法[15]，该种方法需要大量人工参与，并且人工摆放误差较大，容易损伤玉米。为了降低剥皮破损率，赵玉强等[16-17]利用转辊摩擦力将玉米苞叶一角搓起，之后转辊夹住苞叶将其撕扯剥落，并在此基础上对剥皮设备进行了胶辊材质和增加喷水结构的优化设计，将鲜食甜玉米加工破损率降低至 4.0%。张会萍[18]在玉米剥皮装置中加装了连续旋转式锯片，在剥皮加工之前进行果穗切割处理，使玉米苞叶由包覆状态变得较为松散，以提高玉米的剥除率。但这些剥皮设备所针对的大都为糯玉米，并且采用先无差别去除全部苞叶后切头去尾的方式，无法实现对甜加糯型鲜食玉米留层加工的目标。因此，本文创新设计了一套先定位切割再去除外层苞叶的甜加糯型鲜食玉米合理留层的加工工艺。

1　合理留层工艺流程

甜加糯型鲜食玉米合理留层工艺的流程如图 1 所示，包括上料机上料、头尾检测及顺向、定位切割、苞叶留层、质量检测、装箱等环节。其中，合理留层的关键技术体现在定位切割环节和苞叶留层环节。本文从了解甜加糯型鲜食玉米的苞叶分布规律入手，来解决工艺中定位切割和苞叶留层这 2 个关键问题。

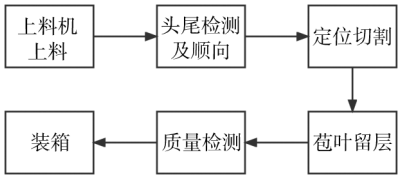


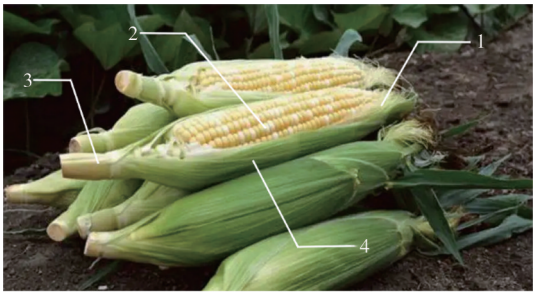
图 1　鲜食玉米合理留层加工工艺

Fig. 1　Reasonable layer-retention processing technology for fresh corn

2　鲜食玉米的外形态

2.1　鲜食玉米苞叶的分布规律

采摘后的鲜食玉米果实各部分名称如图 2 所示。为实现合理保留内层苞叶的加工目标，首先要对苞叶在果穗外的包覆状态及分布规律进行研究。



1—花丝；2—果穗籽粒；3—穗柄；4—苞叶。

图 2　鲜食玉米结构部位示意图

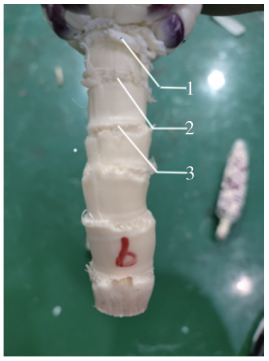
Fig. 2　Schematic diagram of structural parts of fresh corn

选取在河北省广泛种植的冀糯 173 甜加糯型鲜食玉米作为研究对象，2022 年 9 月收获，产地为河北省石家庄市正定县。逐层剥除鲜食玉米果穗外的苞叶，观察各层苞叶对玉米果穗的包覆状态。如图 3 所示，各层苞叶在果穗外有序层层堆叠，每层包覆角度基本相同，但内外层苞叶在穗柄上的生长位置却有明显差异，最内层苞叶生长在穗柄最靠近籽粒处，最外层苞叶生长在穗柄最远离籽粒处，中间各层苞叶则依次按由内向外的顺序在穗柄位置逐渐远离籽粒。

为进一步研究苞叶在穗柄的分布规律，定义苞叶在穗柄的生长连接处为穗柄节点，将最靠近籽粒处的节点称为第 1 节点，随着离籽粒越来越远，依次称为第 2 节点、第 3 节点、……，以此类推，如图 4 所示。选取不同尺寸的玉米果穗，并按其最大直径从小到大逐一编号，然后从最外层开始逐层剥除苞叶，记录每层苞叶在穗柄生长节点位置，统计每个节点苞叶数，待苞叶剥净后，测量穗柄各个节点间的距离。记录多组实验的平均数据，如表 1、表 2 所示。

图 3 玉米各层苞叶的包覆分布状态

Fig. 3 Distribution of bracts covering each layer of corn



1—第1节点；2—第2节点；3—第3节点。

图 4 去除苞叶的玉米穗柄

Fig. 4 Stalk with bracts removal

表 1 穗柄各节点的苞叶数量(部分)

Tab. 1 Number of bracts at each node of panicle (part)

序号	最大直径/mm	第 1 节点苞叶数/片	第 2 节点苞叶数/片	第 3 节点苞叶数/片
1	49	3	1	1
2	50	3	1	1
3	51	2	2	1
4	52	4	1	1
5	53	3	1	1
6	54	2	1	1
7	55	3	2	1
8	56	3	1	1
9	57	3	1	1
10	58	4	1	1

表 2 穗柄节点间距(部分)

Tab. 2 Panicle stalk node distance (part)

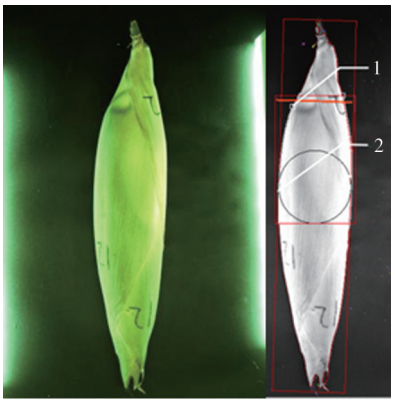
序号	最大直径/mm	第 1 节点与第 2 节点的间距/mm	第 2 节点与第 3 节点的间距/mm	第 3 节点与第 4 节点的间距/mm
1	49	4.23	9.65	8.27
2	50	5.32	9.21	12.97
3	51	5.36	8.77	12.01
4	52	5.38	7.82	10.62
5	53	5.69	11.41	10.84
6	54	6.69	13.83	11.87
7	55	8.53	13.20	12.12
8	56	9.16	10.58	14.24
9	57	10.35	6.78	9.55
10	58	10.64	9.94	11.87

由表 1 实验数据可知，穗柄第 1 节点处生长有 2～4 片苞叶，自第 2 节点后多为 1 片苞叶。进一步观察发现，第 1 节点处所长苞叶大小虽各异，但均包裹在果穗最靠近籽粒处，形成最内层苞叶。由表 2 数据可知，穗柄第 1 节点和第 2 节点的间距约为 5～10 mm，其值大小和玉米最大直径成正比。第 2 节点与第 3 节点的间距及第 3 节点与第 4 节点的间距均在 10 mm 左右。

依据上述苞叶的分布规律，为了在加工过程中保留鲜食玉米 2～4 片的内层苞叶，可在去除苞叶前，先在穗柄第 1 节点至第 2 节点间的区域进行切割，去掉第 2 节点下端的穗柄。这样利用穗柄对内外层苞叶约束力的差异，去除外层苞叶，保留内层苞叶。但问题在于，未去除苞叶前的鲜食玉米穗柄被外层苞叶层层覆盖，无法直接定位到切割位置，需要进一步研究鲜食玉米外轮廓特征，从而找到准确定位切割位置的方法。

2.2 鲜食玉米外部形态测量实验

随机取部分鲜食玉米，对其进行观察，未去除苞叶前的玉米果穗外部整体形状近似“纺锤形”，中间粗两头细，且最大直径靠近穗柄，如图 5 所示。由于果穗尾部籽粒与穗柄交接处曲率变化较大，便于定位，只要找到此处与穗柄第 1 节点之间的对应关系，就可以设计定位装置，“卡”在此区域，进而将切割位置定位到穗柄第 1 节点至第 2 节点之间。



1—尾部曲率变化最大处；2—最大直径处。

图 5　鲜食玉米外部形态关键特征示意图

Fig. 5　Diagram of key features of external morphology of fresh corn

基于上述分析，利用三维扫描仪（HandySCAN-307，Creaform 形创公司提供）分别测量鲜食玉米果穗在去除苞叶前后外部形态的一些关键尺寸，并分析得到的关键数据[19-21]，主要包括：去苞叶前最大直径、去苞叶前尾部曲率变化最大处的直径、曲率变化最大处到穗柄第 1 节点的距离。其中，去苞叶前尾部曲率变化最大处的直径以及曲率变化最大处到穗柄第 1 节点的距离均取最大直径相近玉米的平均值。此批玉米最大直径为 45～60 mm，经过切除前后观察与实验测量，最大直径小于 49 mm 的玉米的质量及成熟度等品质均较差，故将此部分玉米剔除[22]，其余品质合格玉米的测量数据如表 3 所示。

表 3　鲜食玉米形态特征关键尺寸

Tab. 3　Morphological characteristics of fresh corn key dimensions

mm

去苞叶前最大直径	去苞叶前尾部曲率变化最大处的直径	曲率变化最大处到穗柄第 1 节点的距离
49.0	41.0	1.7
50.0	41.5	1.9
51.0	42.0	1.7
52.0	44.0	1.8
53.0	45.0	2.0
54.0	47.0	2.0
55.0	48.5	2.2
56.0	49.5	2.1
57.0	50.0	2.0
58.0	51.0	2.2
59.0	52.0	2.3
60.0	52.5	2.3

由表 3 中数据可知，品质合格的鲜食玉米去苞叶前最大直径为 49.0～60.0 mm，去苞叶前尾部曲率变化最大处的直径为 41.0～52.5 mm，对二者数据进行拟合，如图 6 所示，拟合曲线表达式为

$$y = 1.131\ 12x - 14.687\ 65 。 \quad (1)$$

从式(1)可以看出，鲜食玉米的最大直径越大，曲率变化最大处的直径也越大。另外，曲率变化最大处到穗柄第 1 节点的距离为 1.7～2.3 mm，也随最大直径的增大而增大，但变化幅度很小。

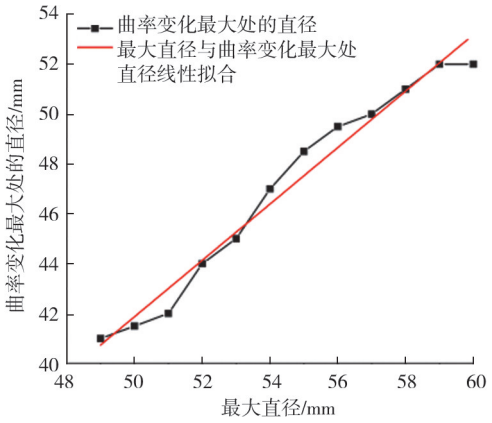


图 6　最大直径与曲率变化最大处直径的拟合曲线

Fig. 6　Fitting curve of the maximum diameter to the diameter where the curvature change is greatest

3　定位切割环节关键技术研究

为实现刀具在穗柄第 1 节点至第 2 节点之间的区域稳定切割，根据上述研究结果，设计了一种能“卡”在玉米尾部的定位环，其主要参数包括：大内径、小内径、接触区宽度、保护区宽度和厚度，如图 7 所示。该定位环的工作原理如图 8 所示。图 8 中，带有苞叶的玉米果穗由尾部被气缸从大内径端推入定位环，并由定位环卡住玉米尾部曲率变化最大处的小段区域，定位环另一端定位穗柄切割位置，刀具沿保护区外侧将多出的穗柄部分切除。

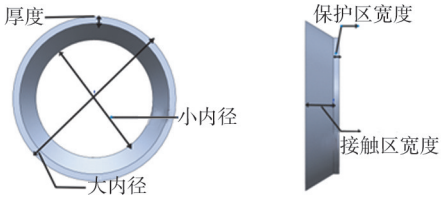
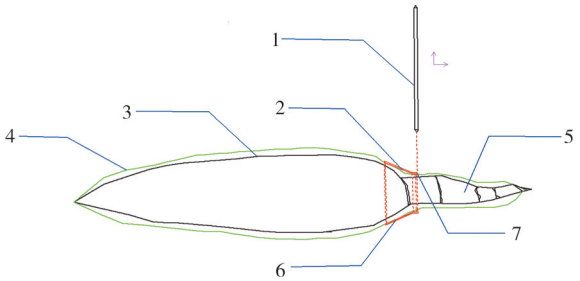


图 7　定位环结构示意图

Fig. 7　Schematic diagram of locating ring



1—切割锯片；2—定位环；3—玉米果穗；4—玉米最外层苞叶；5—玉米穗柄；6—定位环与玉米接触区域；7—穗柄切割位置。

图 8　定位环工作原理示意图

Fig. 8　Schematic diagram of working principle of positioning ring

根据前述鲜食玉米的外形态测量数据，确定定位环的主要参数尺寸，如表 4 所示。

表 4 定位环的主要参数尺寸

Tab. 4 Main parameter size of positioning ring

mm

大内径	小内径	保护区宽度	接触区宽度	厚度
53	41	2	8	2.5

1)大内径与小内径 这 2 项尺寸依据表 3 中玉米果穗去苞叶前尾部曲率变化最大处的直径来确定，大内径取其中的最大值 53 mm，小内径取其中的最小值 41 mm，目的是保证定位环的接触区能卡在所有合格玉米果穗尾部曲率变化最大处的附近区域。

2)保护区宽度 由表 3 数据可知，去苞叶前果穗尾部曲率变化最大处到穗柄第 1 节点的距离约为 2 mm，考虑到玉米果穗尺寸较小时，会定位到定位环小内径处，如在此处切割会将穗柄第 1 节点切掉，从而无法保留最内层苞叶，甚至损伤玉米籽粒，因此设计宽度为 2 mm 的保护区，其直径与小内径一致，从而保证既使最大直径较小的玉米也能在穗柄第 1 节点之外切割。

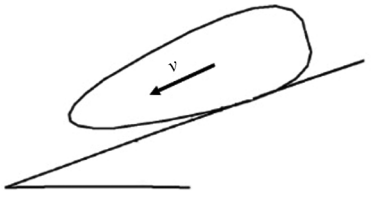
3)接触区宽度 该尺寸为大内径到小内径圆心之间的距离。考虑到玉米果穗尺寸较大时，会定位到定位环大内径处，依据表 2 中数据，尺寸较大的玉米穗柄第 1 节点至第 2 节点距离约为 10 mm，为使切割位置定位不超过穗柄第 2 节点，并且切割后的玉米穗柄应尽可能短，综合考虑，接触区宽度设计为 8 mm。

4)厚度 厚度满足切割强度要求即可，定为 2.5 mm。

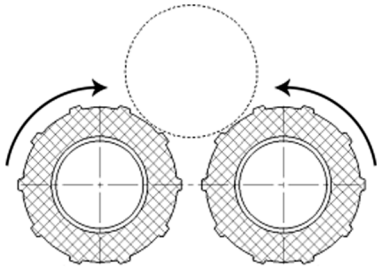
4 苞叶合理留层工艺关键技术研究

玉米经切除设备切除部分穗柄后，外层苞叶与穗柄的连接被切断，内层苞叶仍留在穗柄上。但由于苞叶层层包覆生长，外层苞叶仍包覆在果穗外，这就需要苞叶合理留层设备破坏外层苞叶的包覆状态，使外层苞叶脱落，满足苞叶留层加工的要求。在设计过程中提出了 2 种方案：1)气流去苞叶方法(以下简称气流法)；2)剥皮辊去苞叶方法(以下简称为剥皮辊法)。通过气流法实验发现，苞叶去除对气流角度要求较高，需要不断移动气流出口位置才可完成合理留层目标，而剥皮辊法更加稳定，因此最后决定采用剥皮辊法去除苞叶。

去苞叶设备采用揉搓摩擦原理进行剥皮。当玉米果穗由头尾去除设备出料后，进入剥皮辊，剥皮辊设有一定倾斜角度，玉米在自身重力和剥皮辊摩擦力作用下完成轴向滑移，如图 9 a)所示。同时，由于 2 个剥皮辊相向旋转，果穗受到剥皮辊 2 个方向的切向力，2 个剥皮辊设计为不同形状，使 2 个切向力有所差异，从而形成使果穗绕自身轴线旋转运动的旋转力矩，如图 9 b)所示。果穗在自身重力和剥皮辊转动产生的摩擦力以及旋转力矩的作用下，最终实现苞叶剥除[23]。



a) 玉米轴向滑移

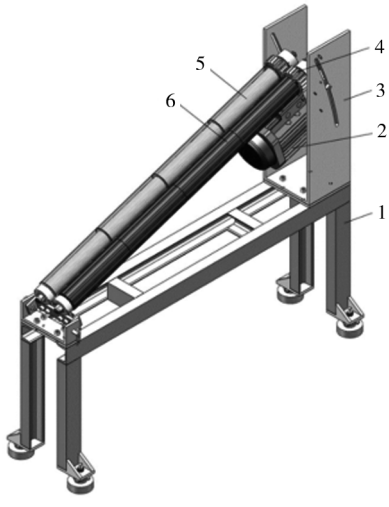


b) 果穗绕自身轴线旋转

图 9 去苞叶原理分析图

Fig. 9 Analysis diagram of bracts removal principle

基于以上工作原理，设计搭建了去苞叶设备，如图 10 所示。设备主要由机架、电机、齿轮组、倾斜度调整板、辊轴、辊轴外胶套等结构组成。



1—机架；2—电机；3—倾斜度调整板；4—齿轮组；5—辊轴；6—辊轴外胶套。

图 10 去苞叶设备结构图

Fig. 10 Structure diagram of bracts removal equipment

本文主要为工艺验证，由于篇幅原因，对于设备的详细设计过程不再进行赘述，只对辊子的摆放设

计依据简要说明：2 个剥皮辊采用平置式摆放，该种摆放方式可以使外层苞叶去除的同时更好地保护内层苞叶；选用弹性橡胶材质制作辊轴外胶套，使胶辊更容易剥离外层苞叶；主动轴橡胶花纹为螺旋突起式，从动轴橡胶花纹为直立式，该种搭配方式具有较小的冲击力与撕扯力，能够较好契合合理留层的工艺条件。辊轴外胶套如图 11 所示，每个辊轴上装有 4 段剥皮辊。设备主要参数见表 5。搭建的具体设备外观如图 12 所示。

a）主动辊轴橡胶套　　b）从动辊轴橡胶套

图 11　辊轴外胶套的外观

Fig. 11　Appearance of the rubber sleeve outside the roller

表 5　去玉米苞叶设备参数

Tab. 5　Parameters of bracts removal equipment

剥皮辊材料	剥皮辊直径/mm	电机功率/W	剥皮辊转速/(r/min)	剥皮辊倾角/(°)	剥皮辊总长度/mm
弹性橡胶	70	370	365	16	96

图 12　去玉米苞叶设备

Fig. 12　Bracts removal equipment

5　合理留层试验

为验证去苞叶设备的工作效果及合理留层工艺的可行性，设计了合理留层试验，模拟定位切割环节和苞叶留层环节，具体步骤如下。

1）定位切割试验　将试验玉米从穗柄端推入定位环，用记号笔沿定位环保护区外侧画出切割位置标识线；取下定位环，利用切割机沿标识线切割玉米穗柄，再将玉米调头切除玉米头部花丝。

2）苞叶留层试验　切割完毕后，将玉米穗柄朝下，沿剥皮辊轴向放入剥皮设备，如图 13 所示。

记录经过 2 个加工环节后玉米掉落的外层苞叶数以及剩余的内层苞叶数，结果如表 6 所示。

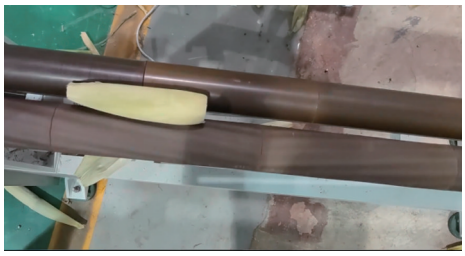


图 13　苞叶留层试验

Fig. 13　Bract retention test

表 6　合理留层试验记录表（部分）

Tab. 6　Reasonable layer-retention test record(part)

最大直径/mm	掉落外层苞叶数/片	剩余内层苞叶数/片
49	4～5	2
50	4	2～3
51	3～4	2～3
52	3～4	2～3
53	3～4	2～3
54	3	3
55	3	3
56	2～3	3
57	2～3	3～4
58	2	4
59	2	4
60	2	4

试验数据表明，最大直径为 49～60 mm 的所有合格玉米经上述试验模拟加工后都能保留 2～4 片内层苞叶，满足加工需求。图 14 显示了最大直径为 49 mm（标记为 22#）和最大直径为 60 mm（标记为 28#）玉米加工后的情况，其中 22# 玉米加工后剩余 2 片苞叶，穗柄基本全部切除，28# 玉米加工后剩余 4 片苞叶，穗柄剩余 4 mm 左右。去苞叶设备能够将定位切割后的玉米外层苞叶去除，保留适当片数的内层苞叶，验证了合理留层加工工艺的可行性。

图 14　最大直径为 49 mm 和 60 mm 的玉米加工情况

Fig. 14　Processing of corn with maximum diameter of 49 mm and 60 mm

6 结 语

本文针对冀糯 173 甜加糯型鲜食玉米的留层加工需求，提出了一种全新的留层加工工艺方法，对鲜食玉米加工产业高质量发展有一定参考价值。具体研究结论如下。

1)冀糯 173 甜加糯型鲜食玉米内外层苞叶在穗柄上的生长具有差异，由此提出了先头尾切割后再去除外层苞叶的高质量留层方法。

2)结合鲜食玉米外形态关键参数以及留层加工要求，设计了定位结构，并通过模拟试验验证了定位机构定位切割玉米的准确性。

3)通过合理留层试验证明，经设计的定位机构和剥皮设备加工的玉米可保留 2～4 片苞叶，符合鲜食玉米合理留层的要求，验证了留层加工工艺的可行性。

本文仅进行了鲜食玉米合理留层工艺流程的设计与验证，在以后的工作中将进一步对核心留层工艺、工艺关键技术以及结构参数进行设计研究，为生产线设计提供数据支持，以开发出完整的鲜食玉米自动加工留层生产线。

参考文献/References：

[1] 田桂钦，史丽丽，张莹莹，等. 鲜食糯玉米国家区域试验品种综合性状分析[J]. 农业科技通讯，2022(10)：155-159.

[2] 井旭源，唐春双，于琳，等. 鲜食玉米机械化收获发展现状[J]. 现代化农业，2020(10)：61-62.

[3] 何晓鹏，沈瑾，孙洁. 浅谈我国鲜食玉米行业发展概况[J]. 农业工程技术(农产品加工业)，2010(10)：26-29.

[4] 徐丽，赵久然，卢柏山，等. 我国鲜食玉米种业现状及发展趋势[J]. 中国种业，2020(10)：14-18.

[5] 董冰，侯凌鹏，李亮，等. 我国鲜食玉米产业发展的若干思考[J]. 农业科技通讯，2018(9)：4-6.

[6] 玄宏侠. 我国鲜食玉米的研究现状及发展前景[J]. 农业与技术，2013，33(12)：138.

[7] 佟屏亚. 世界蔬果玉米生产概况[J]. 世界农业，2001(11)：23-24.

[8] 刘春泉，宋江峰，李大婧. 鲜食甜糯玉米的营养及其加工[J]. 农产品加工(综合刊)，2010(6)：8-9.

[9] 白鹏. 阜阳市鲜食玉米产业发展现状、问题及建议[J]. 园艺与种苗，2021，41(8)：85-86.
BAI Peng. Development status，problems and suggestions of fresh corn industry in Fuyang[J]. Horticulture & Seedling，2021，41(8)：85-86.

[10] 徐燕，钱斌彬，管晓春，等. 浅析苏南地区鲜食玉米生产现状与发展建议[J]. 上海农业科技，2018(4)：16-17.

[11] 陈绍慧. 甜玉米保鲜的理论基础与关键技术[J]. 农产品加工，2005(10)：28-31.

[12] 刘勋甲，徐尚忠，李建生，等. 超甜玉米乳熟期营养成分及不同贮藏处理的含糖量与口感变化[J]. 长江蔬菜，1999(11)：31-33.
LIU Xunjia，XU Shangzhong，LI Jiansheng，et al. Nutrition components，saccharose content and taste change of supersweet corn treated by different storage methods in milk ripe stage[J]. Journal of Changjiang Vegetables，1999(11)：31-33.

[13] 吕桂华，陈坚剑，徐秀红，等. 鲜食糯玉米苞叶相关性状的遗传相关分析[J]. 浙江农业学报，2015，27(7)：1122-1126.
LYU Guihua，CHEN Jianjian，XU Xiuhong，et al. Genetic analysis and assessment of corn-husk traits of fresh-eating waxy corn[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis，2015，27(7)：1122-1126.

[14] 宋凤斌，徐洪文. 玉米苞叶光合生理特性研究进展[J]. 玉米科学，2008，16(4)：31-34.
SONG Fengbin，XU Hongwen. Research progress in photosynthetic physiological characteristics of maize bract[J]. Journal of Maize Sciences，2008，16(4)：31-34.

[15] 王红军. 玉米收获机械的现状及发展趋势[J]. 农机使用与维修，2022(10)：49-51.

[16] 赵玉强，何晓鹏，师建芳，等. 鲜食玉米剥皮机的设计与试验[J]. 农业工程学，2011，27(2)：114-118.
ZHAO Yuqiang，HE Xiaopeng，SHI Jianfang，et al. Design and experiment of sweet and waxy corn husker[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2011，27(2)：114-118.

[17] 赵玉强，何晓鹏，刘清，等. 甜玉米剥皮机结构改进及性能试验[J]. 食品与机械，2014，30(2)：102-105.
ZHAO Yuqiang，HE Xiaopeng，LIU Qing，et al. Design and development of a sweet corn husker[J]. Food & Machinery，2014，30(2)：102-105.

[18] 张会萍. 自动化玉米剥皮装置设计[J]. 自动化应用，2020(12)：158-159.

[19] 宗文鹏，李广云，周阳林，等. DIY 三维激光扫描仪内参数的快速标定[J]. 光子学报，2018，47(4)：98-108.
ZONG Wenpeng，LI Guangyun，ZHOU Yanglin，et al. Rapid calibration method of intrinsic parameters for DIY 3D laser scanner[J]. Acta Photonica Sinica，2018，47(4)：98-108.

[20] 罗陆锋，谭远良，卢清华，等. 水果防碰损采摘的视觉认知及其执行机构研究进展[J]. 河北科技大学学报，2018，39(3)：204-213.
LUO Lufeng，TAN Yuanliang，LU Qinghua，et al. Research progress on visual perception and end-effecter of undamaged operation for fruit-picking robot[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology，2018，39(3)：204-213.

[21] 张坤，李珊珊，王晓红，等. 基于机器视觉的铁路信号灯检测技术[J]. 河北工业科技，2019，36(2)：115-121.
ZHANG Kun，LI Shanshan，WANG Xiaohong，et al. Detection technology of railway signal lamp based on machine vision[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology，2019，36(2)：115-121.

[22] 周子诚. 玉米国家标准琐谈[J]. 四川粮油科技，2001(1)：52-55.

[23] 朱忠祥，岳小微，杜岳峰，等. 玉米果穗剥皮的运动仿真与高速摄像试验[J]. 农业工程学报，2015，31(6)：42-48.
ZHU Zhongxiang，YUE Xiaowei，DU Yuefeng，et al. Dynamic simulation and high-speed photography experiment on corn-ear husking[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2015，31(6)：42-48.